# 符号与非符号 SNARC 效应的发展：言语能力、视空间能力和工作记忆的作用[一]

蒋家丽[1,2] 戚玥[3] 雷秀雅[1] 卢骊霏[1] 于晓[1]

([1]北京林业大学人文社会科学学院心理学系，北京 100089) ([2]天津师范大学心理学部，天津 300387)

([3]北京师范大学心理学部，北京 10087)

摘要 为了揭示符号和非符号 SNARC 效应各自的发展规律及二者关系，实验 1 以 36 名 6~7 岁儿童、59 名 7~8 岁儿童、69 名 8~9 岁儿童和 31 名成人为被试，测查符号和非符号奇偶判断任务，发现符号 SNARC 效应在 8~9 岁儿童中才出现，但非符号 SNARC 效应在 6~7 岁儿童中就已出现，且跨年龄组（儿童和成人）的数据和针对儿童的追踪数据分析显示两种 SNARC 效应在一定年龄范围内可能并不会随着年龄的增长而发生变化。此外，对于同时出现符号与非符号 SNARC 效应的 8~9 岁儿童和成人来说，符号和非符号 SNARC 效应相关不显著。为进一步探讨两种 SNARC 效应是否有相似的认知机制，实验 2 对 137 名 8~9 岁儿童进行为期半年的追踪，测查其言语能力（语音意识、语音记忆和快速命名）、视空间能力（视知觉和心理旋转）、工作记忆（言语工作记忆和视空间工作记忆）及符号和非符号 SNARC 效应，结果显示：言语能力和言语工作记忆对符号 SNARC 效应预测作用显著，视空间能力和视空间工作记忆对非符号 SNARC 效应预测显著。这表明两种 SNARC 效应具有不同的认知基础。研究结果支持了符号与非符号 SNARC 效应的分离假说，并拓展了双编码理论。

关键词 符号 SNARC 效应，非符号 SNARC 效应，认知机制，发展特点

## 1 前言

数字对于人类的环境适应和生存至关重要，如对数字的敏感程度会影响一个人的计算能力甚至决策情况等(Chen et al., 2014)，人类的数字编码及其加工特点一直是研究者们关注的问题。其中，一个重要的方面是数字与空间的联结(颜丽珠 等, 2022)。空间-数字的反应联合编码效应(spatial-numerical association of response codes，SNARC 效应)被普遍认为是空间和数字表征之间存在紧密关联的重要例证(Imbo et al., 2012)。它是指个体左手侧对较小的数字反应更快，右手侧对较大的数字反应更快的一种现象(Dehaene et al., 1993)。这种现象

收稿日期：2023-01-04

一 教育部人文社会科学研究青年基金项目(22YJC190025)：“双减”背景下学龄儿童类比思维的提升研究

通讯作者：于晓，E-mail: yx0903yingzhong@163.com

不仅出现在符号数字领域(Núñez Peña et al., 2021)，也出现在面积、音调等非符号领域(Prpic et al., 2016; Prpic et al., 2020)。过往很多研究者证实了数字与空间的联结能力是数学技能发展的基石，与个体更高级的数量加工效率及复杂的数学技能发展关联密切(Cipora et al., 2020; He et al., 2021)。因此，明晰 SNARC 效应的发展特点及其内在机制不仅有助于揭示数字的空间表征如何随年龄而变化以及符号与非符号 SNARC 效应认知基础的差异性，丰富相关领域的理论，还可以为数量加工与数学技能相关的教学实践提供重要的参考依据。

### 1.1 符号与非符号 SNARC 效应的发展特点

尽管符号 SNARC 效应普遍存在，但其出现的年龄及发展规律尚不明确。例如，Berch 等人(1999)以二至八年级美国儿童为被试，采用奇偶判断任务探究其符号 SNARC 效应的发展情况，结果发现 9 岁儿童才出现符号 SNARC 效应，且随着年龄的增长，该效应的强度会减弱。而 White 等人(2012)采用相同的任务，发现英国 7.5 岁儿童中就出现了显著的符号 SNARC 效应。随后，Yang 等人(2014)发现在中国儿童群体中，5.8 岁就已存在显著的符号 SNARC 效应，且 SNARC 效应的强度并不会随年龄的增长而产生变化，该结果中符号 SNARC 效应出现的年龄明显早于其他国家的儿童。但是，最近 Wu 等人(2020)在评估中国 8 至 10 岁儿童符号 SNARC 效应的发展情况时，仅在 9 岁和 10 岁的儿童中发现了显著的符号 SNARC 效应，这一结果未证实我国儿童符号 SNARC 效应出现更早。由此可知，不同研究者对于符号 SNARC 效应最早出现的年龄及其年龄变化规律所得出的结论存在分歧。

更重要的是，前人研究多集中在符号 SNARC 领域，很少有研究去系统探究非符号领域 SNARC 效应的发展特点，更缺少符号和非符号 SNARC 效应发展特点的对比。而非符号数量加工系统通常被认为是一个基本而普遍的认知系统，它能帮助个体在没有语言或正式符号的情况下量化事物(Cheng & Kibbe, 2023)。因此，探究非符号领域 SNARC 效应的发展特点有助于更全面地了解个体数字-空间联结能力的发展。但目前仅有的少量非符号 SNARC 效应研究还存在相反的结果。例如，Bulf 等人(2016)发现意大利婴儿中存在显著的非符号 SNARC 效应。Nuerk 及其同事(2005)在德国成年人群体中也发现了显著的非符号 SNARC 效应。而 Prpic 等人(2023)在英国大学生群体中同时探究符号与非符号 SNARC 效应是否存在，结果表明符号任务中存在显著的 SNARC 效应，而非符号任务中并不存在该效应。Chan 和 Wong (2016)在以中国学龄前儿童为被试的研究中也没有发现非符号 SNARC 效应的存在。

综上，在符号 SNARC 效应的发展特点方面，虽然有部分研究者在幼儿阶段发现了显

著的符号 SNARC 效应(Zhou et al., 2007; Yang et al., 2014)，但大部分研究者认为符号 SNARC 效应通常出现在已经开始接受正式数学学习的学龄儿童群体中，受到教育等的影响(Wood et al., 2008)，在 8-9 岁左右稳定出现(Gibson & Maurer, 2016; Wu et al., 2020)。由此可推测 8-9 岁可能是符号 SNARC 效应出现的重要时期。在非符号 SNARC 效应的发展特点方面，近期有研究者在婴幼儿，甚至动物身上就观测到了该效应(de Hevia et al., 2017; Gazes et al., 2017)，同时 Ebersbach 等人(2014)也认为非符号 SNARC 效应的存在可能独立于正式的阅读和数学学习，由此可见非符号 SNARC 效应可能在未正式接受过教育的幼儿群体中就已经存在。

此外，通过梳理前人关于 SNARC 效应发展特点的相关研究，可以发现其所选取的被试群体往往局限于一个或少数几个年龄组；更鲜有研究同时系统探讨两种 SNARC 效应随年龄发展变化的规律。而对这一问题的探讨不仅有助于从数字空间表征的角度澄清符号和非符号加工的关系，也有助于较为全面地了解个体数字与空间联结能力的发展特征。

### 1.2 符号与非符号 SNARC 效应的预测因素

有关 SNARC 效应的解释机制方面，有研究者从双编码(Gevers et al., 2010; Pavio, 1986)的角度探究 SNARC 效应的影响因素，认为 SNARC 效应的发生发展既需要言语能力的参与，也需要视空间能力的参与。其中，言语能力是指个体在对书面或口语语言进行加工的过程中，对语音信息进行运用的能力(Wagner & Torgesen, 1987)，包含语音意识(Phonological awareness, PA)、快速自动命名(Rapid automatized naming, RAN)和语音记忆(Phonological memory, PM)三个成分(Yang & McBride, 2020)。语音意识是指个体觉知和操作自己语言中语音成分的能力(Krajewski & Schneider, 2009)。快速自动命名是一种能够连续命名所熟悉的符号(例如字母、数字等)的能力(Kirby et al., 2003)。语音记忆则涉及到基于声音的表征，进行的临时存贮和加工的能力(Wagner & Torgesen, 1987)。极性理论支持 SNARC 效应中存在言语编码，认为 SNARC 效应是源于语言概念建立的联结，如数字的“大”与空间的“右”等相联，数字的“小”和空间的“左”等相联(Gevers et al., 2006)。有实证研究也发现语音编码是数字空间联结的中介机制(Dollman & Levine, 2016; Fischer & Shaki, 2016)。例如，Jonas 等人(2014)选取了有无数字空间联觉的个体对其施测符号奇偶判断任务，结果发现两组人在产生 SNARC 效应时，都会受到语言因素的调节。Imbo 等人(2012)则证实相比于视空间编码方式，言语空间编码在驱动符号 SNARC 效应方面更具优势，并提出数字空间联结的语音编码机制在儿童早期就已出现。此外，Yang 和 McBride(2020)也证实

言语能力会影响个体的符号数量加工，而符号 SNARC 效应属于符号数量加工的重要方面，由此推测言语能力与符号 SNARC 效应密切相关。然而，目前少有研究关注言语能力与非符号 SNARC 效应的关系，因此言语能力与两种 SNARC 效应之间是否存在差异性关系仍需要进一步探究。

视空间能力是指个体表征、转换或生成视觉对象的能力(Tosto et al., 2014; Van Garderen, 2006)，视知觉(Visual perception)和心理旋转(Mental rotation)是其中两个重要亚能力 (Yang et al., 2021)。视知觉是指个体处理视觉形式之间空间关系的能力，不涉及变换或操作；而心理旋转则是指个体对空间信息进行复杂或多步骤操作的能力。心理数字线理论(Dehaene et al., 1993)强调数字信息视觉空间编码的重要性，认为个体会将数字依据其量级大小进行空间编码，使数字从小到大对应从左到右的空间分布。但在少有的关于视空间能力与符号 SNARC 效应关系的研究中，结果并不一致。Bachot 等人(2005)对比了视觉空间能力缺陷儿童与普通儿童符号 SNARC 效应的情况，发现符号 SNARC 效应仅在普通儿童中出现，这表明视空间能力可能是符号 SNARC 效应产生的一个重要因素。然而，另一些研究却发现不管是视空间能力中的视知觉(Gibson et al., 2016)、还是三维心理旋转能力(Viarouge et al., 2014)，均与符号 SNARC 效应之间并不存在显著关联。此外，目前尚未有研究直接探究视空间能力与非符号 SNARC 效应的关系，但有较多研究探讨了视空间能力和非符号数量加工之间的关系，例如，Zhang 和 Lin(2015)以及 Yang 等人(2020)的研究结果显示视空间能力中的视知觉可以显著预测儿童 11 个月后的非符号算术技能。而非符号 SNARC 效应是非符号数量加工的重要方面(Ebersbach et al., 2014)，据此可以推测视空间能力可能对非符号 SNARC 效应的发展具有重要作用。

除了领域特殊性的言语能力和视空间能力，近年来 van Dijck 和 Fias (2011)提出工作记忆理论，认为 SNARC 效应直接源于数字在工作记忆中的空间表征。具体而言，SNARC 效应的产生是由于工作记忆中的数字序列的前/后位置与左/右空间形成联结而产生的一条短时的、新的心理数字线。最近，王强强等人(2022)的研究结果也支持了该理论，证实数字在工作记忆的空间表征易受情境因素的干扰。此前一些实证研究也发现儿童符号 SNARC 效应不仅与视空间工作记忆显著负相关(Wu et al., 2020)，也受言语工作记忆的影响(Herrera et al., 2008)。而 Deng 等人(2017)的研究同时探究了言语工作记忆、视空间工作记忆与符号 SNARC 效应的关系，结果发现相比视空间工作记忆，符号 SNARC 效应与言语工作记忆关联更紧密。此外，虽然尚未有研究直接检验言语和视空间工作记忆与非符号 SNARC 效应

的关系，但有研究表明视空间工作记忆与非符号数量加工紧密关联。例如，一项以 120 名 4 岁至 6 岁儿童为被试的阿根廷研究发现视空间工作记忆与非符号量级加工之间存在显著的正向相关(Formoso et al., 2017)。因此，视空间工作记忆可能对非符号 SNARC 效应的发展具有重要作用。

符号与非符号加工系统的分离假说提出，符号系统和非符号系统相互独立，符号数字加工依赖精确表征，而非符号数字加工依赖于近似表征(Sasanguie et al., 2017)。基于此，本研究预期符号和非符号 SNARC 效应可能具有不同的认知机制。一些实证研究也验证了该观点，例如，Imbo 等人(2012)发现相比于视空间机制，言语机制在驱动九岁儿童的符号 SNARC 效应上更具优势。同时，目前已有许多研究证实言语相关认知因素与符号数量加工之间关联密切，与非符号数量加工之间不存在相关(Yang et al., 2020)，视空间相关因素与非符号数量加工之间存在紧密关联，但与符号数量加工之间相关不显著(Formoso et al., 2017; Gibson & Maurer, 2016; Yang et al., 2020)。而 SNARC 效应作为数量加工的一个重要方面，可能也会出现与数量加工研究相似的结果。

### 1.3 本研究

本研究首先试图在较大的年龄范围内探究符号与非符号 SNARC 效应的年龄变化规律。由于 6 岁左右是目前发现 SNARC 效应出现的最早的年龄之一(Yang et al., 2014)，且学龄时期是儿童数学能力发展的关键阶段，了解该时期儿童数字空间表征能力的发展情况尤为重要(Hoffmann et al., 2014)，同时以成人作为参照组来更全面地探究 SNARC 效应的年龄变化特点；故研究一中选取 6~7 岁儿童、7~8 岁儿童、8~9 岁儿童以及成人为被试。随后，基于符号与非符号 SNARC 效应同时出现的关键年龄阶段，对其进行为期六个月的纵向追踪，进一步明确两种 SNARC 效应的预测因素以及二者认知机制的差异。结合前述论证，预期：（1）符号 SNARC 效应可能出现在学龄期 8~9 岁儿童群体中，非符号 SNARC 效应在 6~7 岁儿童群体中就已经出现。（2）符号和非符号 SNARC 效应存在差异性预测机制，具体来说，符号 SNARC 效应可能与言语能力、言语工作记忆存在较大关联，非符号 SNARC 效应可能与视空间能力、视空间工作记忆相关联(具体假设模型如图 1 所示)。

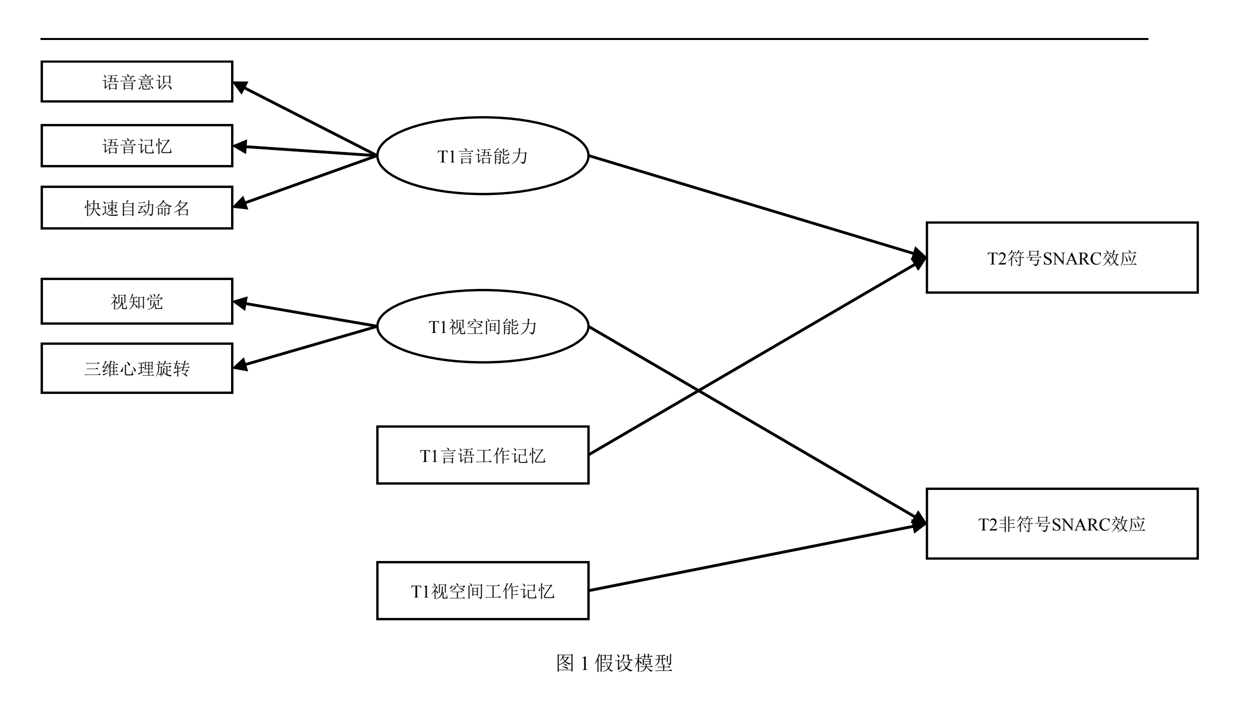



图 1 假设模型

注：将 T1 阶段的符号与非符号 SNARC 效应作为控制变量

# 2 实验 1：符号与非符号 SNARC 效应的发展特点

实验 1 采用符号和非符号奇偶判断任务，探讨符号和非符号 SNARC 效应的发展特点及关系。

## 2.1 实验方法

### 2.1.1 被试

设定中等效应量，在 0.05 显著性水平下达到 80%统计检验力，使用 G-power 软件计算每组样本量应≥24 人，故招募山东省烟台市龙湖小学 36 名 6~7 岁儿童 (男生 19 名，平均年龄 6.42 ± 0.47 岁)、59 名 7~8 岁儿童 (男生 30 名，平均年龄 7.56 ± 0.42)、69 名 8~9 岁儿童 (男生 32 名，平均年龄 8.40 ± 0.38 岁)和烟台大学 31 名成人 (男生 15 名，平均年龄 21.76 ± 1.46 岁)为被试。所有被试均为右利手，视力或矫正视力正常，无色弱色盲，同时智力正常，不存在学习障碍，且均报告未参加过此类实。实验开始前，所有儿童被试的家长和成人被试均签署了知情同意书。整个项目已通过北京林业大学人文社会科学学院心理学系伦理审查委员会的审批(批准号：BJFUPSY-2023-005)，相关研究程序和内容符合伦理规范。

### 2.1.2 实验设计

参照 Hoffmann 等(2014)人的研究方法，进行 4(年龄组：6~7 岁、7~8 岁、8~9 岁、成人)×4(量级：非常小、小、大、非常大)×2(任务类型：符号奇偶判断任务、非符号奇偶判断任务)的混合实验设计。其中年龄为被试间变量，量级和任务类型为被试内变量，以右手平均反应时减左手平均反应时之差(dRTs)为因变量。

2.1.3 实验材料

本研究中采用符号与非符号奇偶判断任务来测查被试的符号与非符号 SNARC 效应(Nuerk et al., 2005; Yang et al., 2014)。两个任务均要求被试判断目标刺激(阿拉伯数字或点阵数量)是奇数还是偶数，随后记录被试左手和右手按键的反应时。

符号奇偶判断任务：任务刺激材料包括个位数的阿拉伯数字“1”至“9”(不包含数字“5”) (Dahaene et al., 1993; Hoffman et al., 2014)。每次呈现的目标数字的字体为 Arial，字号为 48。

非符号奇偶判断任务：该任务刺激包括一到九的点阵图案，但不包含“五点的图案”(Nuerk et al., 2005)，为了避免点阵的累加面积影响个体的数量判断，本研究保持不同的点阵中点的累积面积不变。具体而言，从“一点图案”到“九点图案”中(不包含五点图案)的每个点的直径为：42.19 像素，29.81 像素，24.31 像素，21.07 像素，17.22 像素，15.95 像素，14.91 像素，14.08 像素。点阵图案的大小为 110×110 像素。

2.1.4 实验程序

实验任务中所有的视觉刺激均采用 E-Prime 1.1 呈现。为了确保被试理解奇偶的概念，实验者在正式实验前向被试解释任务要求。在汉语中有两套术语表示奇数和偶数。对于 6~7 岁和 7~8 岁儿童，实验者使用口语术语，即单数和双数分别表示奇数和偶数，这也是教授幼儿奇偶知识常用的方法(Yang et al., 2014)。对于其他年龄组，则使用奇数和偶数的表述。完成两项任务的用时大约 30 分钟。

符号与非符号奇偶判断任务的练习阶段，要求被试判断出 10 以下的奇数和偶数，共有 8 个试次，每个被试在练习阶段的正确率要到至少达到 85%后方可进入正式实验。在正式实验中，参与者依然被要求判断呈现的阿拉伯数字或点阵图案是奇数还是偶数。每个参与者需完成两个区组(在区组 1 中，规则要求被试按“A”表示奇数，按“L”表示偶数；在区组 2 中，规则要求的反应按键与区组 1 相反)。在 300ms 的注视点后，8 个视觉刺激(符号奇偶判断任务呈现阿拉伯数字 1、2、3、4、6、7、8、9；非符号判断任务呈现点阵图案 , , , , , , , )随机呈现一个。在每个区组中，8 个视觉刺激各重复出现 4 次，共有 32 个试次。每个试次中刺激在屏幕上呈现的持续时间是直到被试按下反应键或 5000ms。随后在 1000ms 的空屏后呈现下一试次。被试间随机平衡了这两个区组的出现顺序。被试在两个区组之间休息 2 分钟。每个参与者均需完成符号和非符号奇偶判断任务，任务施测顺序在被试间进行平衡。最后记录被试在两个任务下左手和右手按键

的反应时作为结果指标。具体实验流程如图 2 所示。

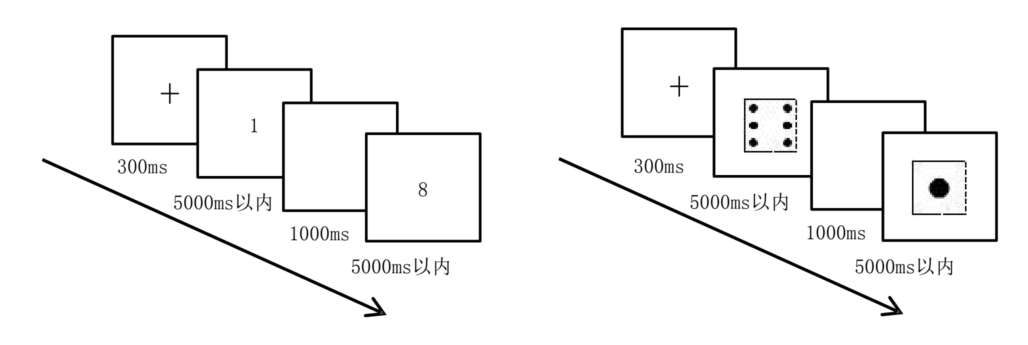



图 2 符号奇偶判断任务(左)与非符号奇偶判断任务(右)

2.1.5 数据处理

采用 SPSS26.0 对实验结果的数据进行录入与统计分析。删除被试错误试次的数据、反应时(RT)短于 200ms 的数据，以及个体反应时高于或低于组平均反应时 2.5 个标准差的异常值(van Galen & Reitsma, 2008)。实验 1 删除的异常值所占比例：6~7 岁儿童为 7.60%、7~8 岁儿童为 4.83%、8~9 岁儿童为 4.16%、成人为 3.03%。此外，被试的平均错误率和平均反应时(RT)之间不存在显著相关(符号奇偶判断任务：$r$=0.08，$p$=0.26；非符号奇偶判断任务：$r$=0.07，$p$=0.35)，可见被试在完成两种 SNARC 效应任务时没有明显的速度-准确性权衡。

此外，本研究中采用两种常见方法来分析和检验 SNARC 效应：(1)方差分析法：参照 van Galen 和 Reitsma (2008)的数据处理方法。第一步，将个体在符号或非符号奇偶判断任务中对每个数字进行右手反应的平均反应时减去左手反应的平均反应时来计算个体的双手平均反应时之差(dRTs)，若右手比左手反应快，dRTs 为负值，反之则为正值。第二步，依据 Hoffmann 等人(2014)和 Tzelgov 等人(1992)的做法，为避免数字的奇偶属性对左右手偏侧化反应可能造成的误差，本研究将数量邻近但奇偶属性不同的数字进行了整合，将八个数字(1、2、3、4、6、7、8、9)分为四个量级：非常小(1，2)，小(3，4)，大(6，7)和非常大(8，9)，每个量级的 dRTs 的值为是邻近两个数字的 dRTs 的平均值。最后，以 dRTs 为因变量，将量级和任务类型作为被试内因素，将年龄组作为被试间因素，进行重复测量方差分析。对于每一任务类型和年龄阶段，如果量级主效应显著，则表示出现显著的 SNARC 效应（Wu et al., 2020）。

(2)回归斜率法：参照 Fias 和 Fischer(2005)的方法，以量级(非常小、小、大、非常大)为自变量，各量级上的平均 dRTs 为因变量，进行回归，得到其回归斜率(Slope)(Yang et al., 2014）。随后采用单样本 $t$ 检验来检验特定年龄组的平均斜率(Slope)与零的差异(Pan et al.,

2019)。若回归斜率(Slope)为负且与 0 有显著差异则表明出现了 SNARC 效应(Fias et al., 1996)。

### 2.2 实验结果

#### 2.2.1 各年龄组在两类 SNARC 效应任务中的描述统计

四个年龄组被试在不同任务类型中右手与左手平均反应时的情况如表 1 所示，此外，通过描述性分析还发现被试在符号奇偶判断任务中，从 6~7 岁儿童至成人四个年龄群体的平均错误率分别为 14.21%、14.40%、13.36%和 4.69%；在非符号奇偶判断任务中，从 6~7 岁儿童至成人四个年龄群体的平均错误率分别为：13.69%、14.52%、12.14%和 3.31%。

表 1 各年龄组在符号与非符号奇偶判断任务中的左右手平均反应时(ms)

| 量级 | 反应手 | | 符号奇偶判断任务 | | | | 非符号奇偶判断任务 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 6~7 岁 | 7~8 岁 | 8~9 岁 | 成人 | 6~7 岁 | 7~8 岁 | 8~9 岁 | 成人 |
| 非常小 | 右手 | *M* | 1629.90 | 1146.11 | 1062.31 | 613.06 | 1560.70 | 1124.46 | 1166.23 | 740.10 |
| | | *SD* | 336.59 | 298.49 | 215.52 | 88.47 | 388.00 | 261.27 | 278.37 | 107.14 |
| | 左手 | *M* | 1579.23 | 1039.76 | 930.81 | 531.05 | 1396.31 | 1049.99 | 1042.01 | 646.35 |
| | | *SD* | 348.54 | 240.21 | 212.45 | 66.49 | 271.92 | 198.65 | 201.40 | 43.78 |
| | dRT | *M* | 50.67 | 106.34 | 132.35 | 82.01 | 164.38 | 74.47 | 134.12 | 93.75 |
| 小 | 右手 | *M* | 1778.45 | 1142.37 | 1040.21 | 581.29 | 1623.44 | 1137.55 | 1175.93 | 717.83 |
| | | *SD* | 445.36 | 276.32 | 231.75 | 73.68 | 436.73 | 254.54 | 339.13 | 150.63 |
| | 左手 | *M* | 1705.85 | 1140.12 | 970.47 | 537.19 | 1557.71 | 1097.82 | 1142.37 | 653.57 |
| | | *SD* | 389.96 | 359.88 | 177.77 | 62.63 | 450.18 | 269.35 | 274.72 | 105.48 |
| | dRT | *M* | 72.60 | 2.25 | 66.00 | 44.10 | 65.73 | 39.73 | 43.35 | 64.26 |
| 大 | 右手 | *M* | 1839.24 | 1226.57 | 1032.03 | 541.04 | 1871.93 | 1529.89 | 1355.14 | 859.76 |
| | | *SD* | 543.33 | 335.68 | 280.26 | 76.76 | 703.93 | 423.48 | 397.46 | 167.72 |
| | 左手 | *M* | 1797.23 | 1207.98 | 1092.73 | 600.98 | 1980.72 | 1618.86 | 1544.99 | 935.03 |
| | | *SD* | 542.33 | 290.52 | 239.77 | 80.67 | 712.47 | 441.28 | 475.06 | 254.15 |
| | dRT | *M* | 42.01 | 18.59 | -54.51 | -59.94 | -108.79 | -88.97 | -167.16 | -75.27 |
| 非常大 | 右手 | *M* | 1880.88 | 1238.13 | 985.64 | 532.51 | 1926.38 | 1536.89 | 1584.18 | 913.06 |
| | | *SD* | 389.51 | 377.97 | 224.89 | 63.19 | 676.96 | 512.58 | 520.09 | 208.92 |
| | 左手 | *M* | 1770.35 | 1121.94 | 1056.61 | 640.67 | 2127.60 | 1800.97 | 1697.88 | 994.68 |
| | | *SD* | 383.87 | 272.76 | 239.75 | 107.38 | 708.18 | 564.96 | 421.46 | 235.54 |
| | dRT | *M* | 110.53 | 116.18 | -68.02 | -108.17 | -201.23 | -264.07 | -120.56 | -81.62 |

注：dRTs=右手平均反应时-左手平均反应时

#### 2.2.2 各年龄组被试的符号与非符号 SNARC 效应的方差分析

为探究符号与非符号 SNARC 效应的年龄发展特点，以左右手平均反应时之差(dRTs)为因变量，进行 4(年龄组：6~7 岁儿童、7~8 岁儿童、8~9 岁儿童、成人)×2 (任务类型：符号奇偶判断任务，非符号奇偶判断任务) ×4 (量级：非常小、小、大和非常大)方差分析，结果显示，任务类型的主效应显著[$F(1, 114)=11.09$，$p=0.001$，$\eta^2=0.09$]，进一步事后检验发

现非符号奇偶判断任务的 dRTs 显著小于符号奇偶判断任务($d$=-61.31, $p$=0.001)。同时，年龄的主效应不显著[$F(3, 114)$=0.40，$p$=0.75，$\eta^2$=0.01]，这表明不同的年龄群体在奇偶判断任务中右手平均反应时与左手平均反应时之间的差值不存在显著差异。量级的主效应显著[$F(3, 112)$=17.69，$p$<0.001，$\eta^2$=0.30]，具体而言，在“非常小”($M_{dRTs}$=104.76)和“小”($M_{dRTs}$=49.75)两个量级中，个体右手平均反应时与左手平均反应时之间的差值为正，在“大”($M_{dRTs}$=-61.76)和“非常大”($M_{dRTs}$=-77.12)两个量级中，个体右手平均反应时与左手平均反应时之间的差值为负，这意味着个体的行为表现符合 SNARC 效应的趋势(即对于较小的数字，个体左手侧反应更快，对于较大的数字，个体的右手侧反应更快)。

同时，量级、年龄组和任务类型三者之间的交互作用显著，$F(9, 342)$=2.02，$p$=0.04，$\eta^2$=0.05。为了进一步明晰不同任务类型下 SNARC 效应的发展情况，简单效应分析表明：

对于符号奇偶判断任务，年龄组和量级之间交互作用显著[$F(9, 342)$=2.12，$p$=0.02，$\eta^2$=0.06]。随后对年龄与量级的二重交互作用进行简单效应分析，结果显示 8~9 岁儿童的量级主效应显著[$F(3, 47)$=9.52，$p$<0.001，$\eta^2$=0.16]，具体来说，8~9 岁儿童在“非常小”($M_{dRTs}$=116.30)和“小”($M_{dRTs}$=82.25)两个量级中，右手平均反应时与左手平均反应时之间的差值为正，在“大”($M_{dRTs}$=-79.81)和“非常大”($M_{dRTs}$=-60.91)两个量级中，右手平均反应时与左手平均反应时之间的差值为负，这说明 8~9 岁儿童的行为表现符合符号 SNARC 效应的差异模式，即对于较小的数字，个体左手侧反应更快，对于较大的数字，个体的右手侧反应更快。成人的量级主效应显著[$F(3, 25)$=39.57，$p$<0.001，$\eta^2$=0. 59]，具体来说，成人在“非常小”($M_{dRTs}$=99.16)和“小”($M_{dRTs}$=37.15)两个量级中，右手平均反应时与左手平均反应时之间的差值为正，在“大”($M_{dRTs}$=-62.31)和“非常大”($M_{dRTs}$=-103.11)两个量级中，右手平均反应时与左手平均反应时之间的差值为负，这说明成人的行为表现同样符合符号 SNARC 效应的差异模式。但 6~7 岁儿童[$F(3, 33)$=0.34，$p$=0.80，$\eta^2$=0.01]以及 7~8 岁儿童[$F(3, 32)$=0.60，$p$=0.62，$\eta^2$=0.02]中未出现显著的量级主效应，这表明 6~7 岁儿童和 7~8 岁儿童未出现显著的符号 SNARC 效应。同时，为了进一步探究已出现两种 SNARC 效应的年龄群体中该效应的强度是否存在年龄差异，本研究以 8~9 岁儿童和成人为被试，以年龄和量级为自变量，以 dRTs 为因变量，进行重复测量方差分析，结果显示，除量级的主效应显著[$F(3, 74)$=15.52，$p$<0.001，$\eta^2$=0.39]外，年龄组的主效应[$F(1, 76)$=1.10，$p$=0.30，$\eta^2$=0.01]以及年龄与量级的交互作用[$F(3, 74)$=0.49，$p$=0.69，$\eta^2$=0.02]均不显著，这表明在出现符号 SNARC 效应的年龄组之间该效应的大小不存在年龄差异。

对于非符号奇偶判断任务，年龄的主效应[$F(3, 114)=0.51$，$p=0.87$，$\eta^2=0.02$]以及年龄与量级的交互作用均不显著[$F(9, 342)=0.68$，$p=0.77$，$\eta^2=0.02$]；仅有量级的主效应显著[$F(3, 114)=21.14$，$p<0.001$，$\eta^2=0.15$]，具体而言，在“非常小”($M_{dRTs}=122.54$)和“小”($M_{dRTs}$=60.84.75)两个量级中，个体右手平均反应时与左手平均反应时之间的差值为正，在“大”($M_{dRTs}=-98.68$)和“非常大”($M_{dRTs}=-173.35$)两个量级中，个体右手平均反应时与左手平均反应时之间的差值为负，这意味着个体的行为表现符合非符号 SNARC 效应的差异模式，这些结果表明所有年龄组均存在显著的非符号 SNARC 效应。

### 2.2.3 各年龄组被试的符号与非符号 SNARC 效应发展的回归分析检验

为进一步探究和验证 SNARC 效应的发展规律，本研究参照 Fias 和 Fischer(2005）的方法，进行量级对其平均 dRTs 的回归分析，以获得每位被试的 Slope。如表 2，结果表明，在符号奇偶判断任务中，8~9 岁儿童[$t(62)=-4.53$，$p<0.001$]和成人[$t(30)=-9.86$，$p<0.001$]的 slope 显著小于 0，6~7 岁[$t(35)=1.06$，$p=0.30$]和 7~8 岁[$t(51)=0.87$，$p=0.39$]儿童的 slope 与 0 无显著差异，表明符号 SNARC 效应出现在 8~9 岁儿童和成人群体中，6~7 岁和 7~8 岁儿童尚未出现符号 SNARC 效应(见图 3)。

**表 2 每种任务类型下斜率的单样本 $t$ 检验结果**

| 任务类型 | | 年龄组 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 6~7 岁 | 7~8 岁 | 8~9 岁 | 成人 |
| 符号奇偶判断任务 | $M \pm SD$ | 8.27 ± 46.66 | 6.40 ± 52.90 | -26.60 ± 46.64 | -29.90 ± 16.88 |
| | $t$ | 1.06 | -0.87 | $-4.53^{***}$ | $-9.86^{***}$ |
| 非符号奇偶判断任务 | $M \pm SD$ | -53.15 ± 75.89 | -53.77 ± 73.85 | -46.16 ± 78.69 | -29.85 ± 30.31 |
| | $t$ | $-4.20^{***}$ | $-5.50^{***}$ | $-4.84^{***}$ | $-5.48^{***}$ |

注：*代表 $p < .05$；**代表 $p < .01$；*** 代表 $p < .001$。

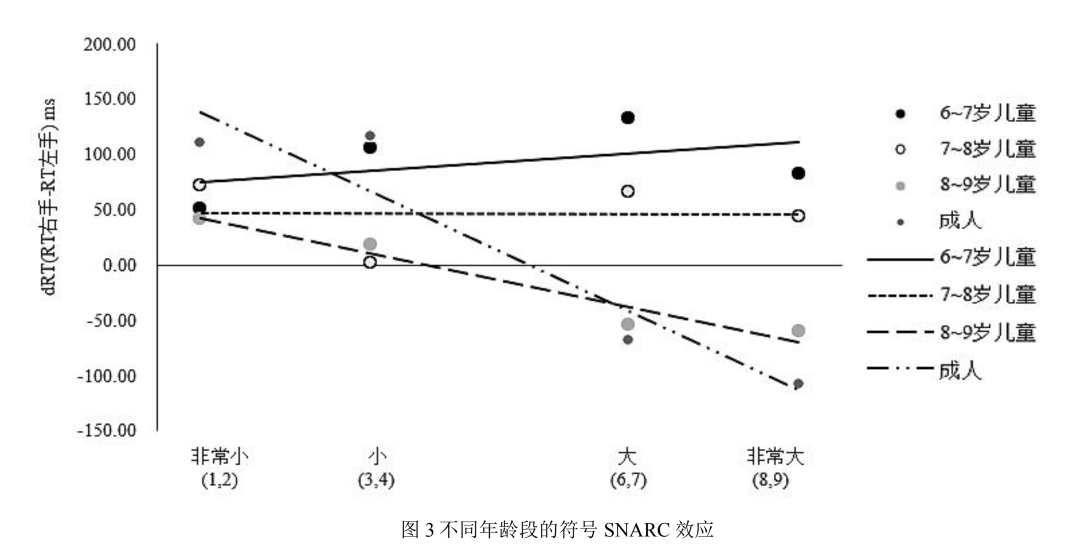



图 3 不同年龄段的符号 SNARC 效应

注：横坐标为量级，纵坐标为右手平均反应时减左手平均反应时之差

在非符号奇偶判断任务中，所有年龄组的 *t* 值均显著，且所有年龄组被试的平均 Slope 均显著小于 0，这表明所有年龄组都出现了显著的非符号 SNARC 效应(见图 4)。

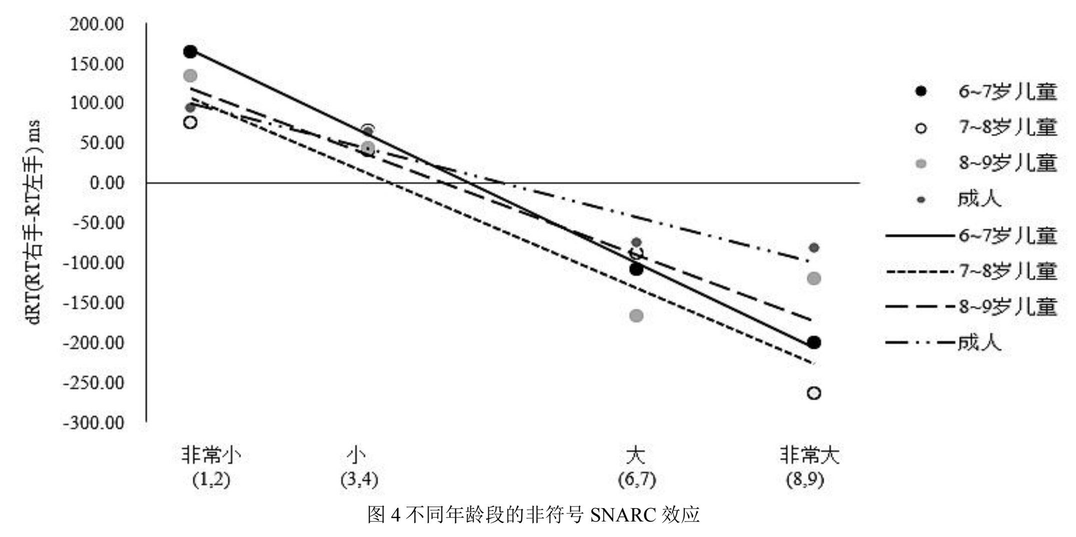



图 4 不同年龄段的非符号 SNARC 效应

注：横坐标为量级，纵坐标为右手平均反应时减左手平均反应时之差

同时，为了证实方差分析方法中所得出的符号与非符号 SNARC 效应在一定范围内不存在年龄差异这一结果，本研究将同时出现符号和非符号 SNARC 效应的 8~9 岁儿童和成人群体中每位被试的 Slope 与其年龄进行了相关分析。结果表明无论是符号 SNARC 效应（$r$=0.10, $p$=0.15）还是非符号 SNARC 效应（$r$=0.04, $p$=0.71），被试的 Slope 与年龄之间的相关性均不显著。

此外，由上可知，符号与非符号 SNARC 效应出现的年龄阶段不同，非符号 SNARC 效应先于符号 SNARC 效应出现，为探讨二者之间是否存在关联，如非符号 SNARC 效应是否能为符号 SNARC 效应的出现起到促进作用。本研究以同时存在两种 SNARC 效应的 8-9 岁儿童和成人为被试群体，对其在符号和非符号奇偶判断任务下所得到的 Slope 指标进行了相关分析。结果显示，无论是 8~9 岁儿童($r$=0.13, $p$=0.33)，还是成人($r$=-0.03, $p$=0.86)群体，符号 Slope 和非符号 Slope 均不存在显著相关，这表明符号与非符号 SNARC 效应之间可能相互独立。

## 2.3 讨论

实验 1 结果发现符号 SNARC 效应通常在 8~9 岁的儿童群体中开始出现，但非符号 SNARC 效应在 6~7 岁儿童甚至之前的年龄阶段中就已经出现，两种 SNARC 效应出现的年龄阶段不同，这些发现与前人研究的相关结果一致(Berch et al., 1999; van Galen & Reitsma, 2008; Wu et al., 2020)。由此可见符号 SNARC 效应可能受到文化教育等的影响(Wood et al., 2008)，而非符号 SNARC 效应可能独立于正式的数学学习与教学(Ebersbach et al., 2014)。

同时，研究结果显示符号与非符号 SNARC 效应的强度在一定年龄范围内可能均不会随着年龄的发展而变化，由此可知，个体数字与空间联结的能力可能在早期发展阶段就已经形成，并在一定年龄范围内保持相对稳定。

此外，实验 1 中还发现符号与非符号 SNARC 效应之间不存在显著关联，这些结果初步探究了符号与非符号 SNARC 效应之间的分离关系。在实验二将从认知机制的角度进一步验证符号与非符号 SNARC 效应之间的分离关系。

## 3 实验 2：言语能力、视空间能力和工作记忆对符号、非符号 SNARC 效应的预测性作用

选取实验 1 发现的同时出现符号与非符号 SNARC 效应的关键年龄段：8~9 岁儿童为被试群体，采用追踪设计探究符号和非符号 SNARC 效应的差异性预测因素。

### 3.1 实验方法

#### 3.1.1 被试

以山东省烟台市龙湖小学和峰山小学 137 名 8~9 岁儿童为被试，进行为期半年的追踪。首次施测时间(T1)为 2021 年 7 月, 其中男生 70 人，女生 67 人，平均年龄为 8.43±0.75 岁。第二次施测时间(T2)为 2022 年 1 月。其中所有儿童均为右利手，视力或矫正视力正常，并且智力正常，不存在学习障碍。被试均报告未参加过此类实验，且与实验 1 并非同一组被试。

#### 3.1.2 实验设计

采用纵向设计，对 8~9 岁儿童进行前后两次间隔时间为 6 个月的追踪测查。

以 T1 阶段的言语能力(快速命名、语音记忆和语音意识)、视空间能力(视知觉和心理旋转)、言语工作记忆和视空间工作记忆为预测变量，T2 阶段的符号 SNARC 效应与非符号 SNARC 效应为结果变量，同时将被试在 T1 阶段的符号与非符号 SNARC 效应作为控制变量，构建路径分析模型。

#### 3.1.3 实验工具

(1) 汉字押韵任务：用于评估个体的语音意识(Zhang et al., 2016)，实验流程如图 5 所示。任务限时 3 分钟终止，共包含 120 次试次，每个试次中刺激呈现时间是直到被试按下反应键或 1500ms，随后紧接着呈现下一个试次。在这个任务中，两个汉字同时出现在屏幕上。被试需要回答这两个字符是否押韵，用“Q”键表示是，用“P”键表示否。此外，在该任务中为了控制被试的猜测效应，利用 Guilford 校准分 S 作为儿童的最终成绩(Zhang et al.,

2016)，校正公式为：S=R-W/(N-1)，其中 R 表示正确反应的题目数量，W 表示错误反应的题目数量，N 表示题目的选项数量。原始分数经矫正后的得分范围为−120 至 120。该任务的 Cronbach’s α信度系数为 0.95。

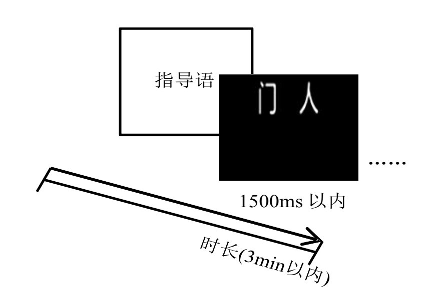



图 5 汉字押韵任务

(2) 数字快速自动命名任务：用于测查个体的快速自动命名能力(Yang et al., 2019)，实验材料如图 6 所示。该任务为一对一施测。在该任务中，被试会看到八个由五个不同的单位数数字组成的阵列，其顺序是随机的。这项任务要求被试以最快的速度说出这些数字。同一任务进行了两次，被试两次命名这些数字的平均时间作为其快速自动命名任务的最终成绩。Cronbach’s α系数为 0.92。此外，平均命名时间为反向计分指标，即个体对给定数字进行命名的时间越短，快速自动命名能力越强。

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 4 | 7 | 9 | 6 | 2 |
| 7 | 2 | 4 | 9 | 6 |
| 9 | 4 | 6 | 2 | 7 |
| 6 | 7 | 9 | 2 | 4 |
| 7 | 2 | 6 | 4 | 9 |
| 4 | 6 | 7 | 9 | 2 |
| 2 | 9 | 4 | 7 | 6 |
| 6 | 2 | 7 | 4 | 9 |

图 6 数字快速自动命名任务

(3) 顺序背数任务：用于测查个体的语音记忆(Baddeley, 2003)，任务示例如图 7 所示。以语音形式随机呈现 10 以内的数字。在每个试次中，被试会首先听到提示音，接着会以语音形式随机呈现 10 以内的数字，每个数字播报 1 秒。数字播报之后会进入 5 秒的等待界面，随后进入回忆界面，要求被试在答题框中按顺序输入自己听到的数字。正式实验中，数字个数的初始水平是两个。被试连续两次正确反应，播放的数字个数增加一个。当被试连续两次反应错误，实验任务结束。最终以被试连续两次回答正确的最大数字量 n 作为个体的最终成绩。

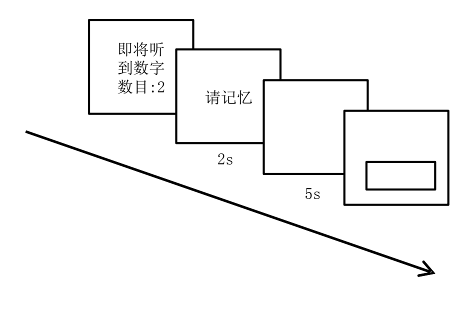



图 7 顺序背数任务

注：听到的数字数目为 n，则请记忆的界面(即数字播报时间)为 n 秒，如图播报 2 个数字则记忆界面为 2 秒

(4) 视觉空间关系任务：用于测量个体的视知觉能力(Zhang et al., 2016)，是视知觉能力测验修订版(Gardner, 1996)的分测验。实验流程如图 8 所示，整个实验过程限时在 3 分钟以内，共有 150 个试次，每个试次在 1200ms 以内。在每个试次中，包含四张没有具体的含义黑白线条图(屏幕左边显示一张图片，右边显示另外三张图片)，图片呈现时间为 400ms，任务要求被试快速判断左边的图片是否包含在右边的三张图片中，“Q”键表示是，“P”键表示否。此外，在该任务中同样采用 Guilford 校准分数 S 作为儿童的最终表现(Zhou et al., 2020)，校正公式为：S=R-W/(N-1)，其中 R 表示正确反应的题目数量，W 表示错误反应的题目数量，N 表示题目的选项数量。矫正后的得分范围为-150 至 150。该任务的 Cronbach’s α系数为 0.91。

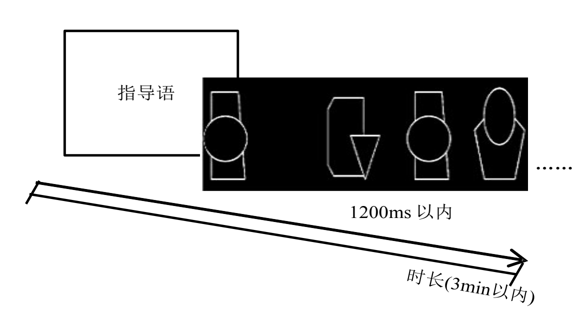



图 8 视觉空间关系任务

(5) 三维心理旋转任务：用以测查个体的心理旋转能力(Shepard & Metzler, 1971)，实验流程如图 9 所示。整个实验过程在 3 分钟以内，共包含 180 个试次。在每个试次中，屏幕中会同时呈现三张三维的图像，上方中央有一张，下方有两张(用于被试进行选择)，被试反应或 1000ms 以后，图片消失。任务要求被试在心理上将屏幕上方中央的图像旋转一定角度后，在屏幕下方的两张图片中选择出与上方图像旋转后位置相匹配的图像，按“Q”键表示左边的图片，“P”键表示右边的图片。旋转的角度为 15°，30°，....345°，间隔为 15°。采用 Guilford 校准分数 S 作为儿童的最终表现(Zhou et al., 2020)，校正公式为：S=R-

W/(N-1)，其中 R 表示正确反应的题目数量，W 表示错误反应的题目数量，N 表示题目的选项数量。这项任务的 Cronbach's α系数为 0.90。

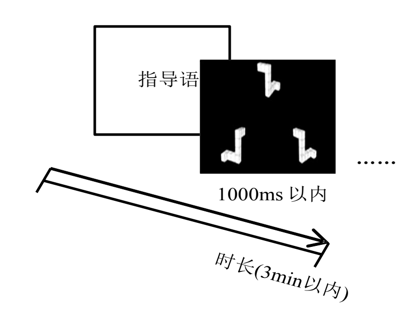



图 9 三维心理旋转任务

(6) 倒序背数任务：用以测查个体的言语工作记忆(Passolunghi & Costa, 2016)，任务示例如图 10 所示。在每个试次中，被试会首先听到提示音，接着会以语音形式随机呈现 10 以内的数字，每个数字播报 1 秒。数字播报之后会进入 5 秒的等待界面，随后进入回忆界面，要求被试在答题框中按倒序输入自己听到的数字。正式实验中，数字个数的初始水平是两个。被试连续两次正确反应，播放的数字个数增加一个，当被试连续两次反应错误，实验任务结束。最终以被试连续两次回答正确的最大数字量 n 作为个体言语工作记忆的成绩。

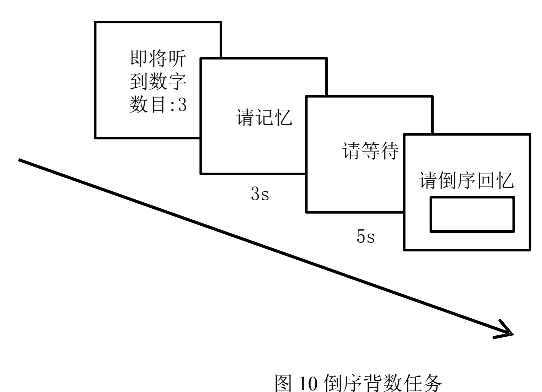



图 10 倒序背数任务

注：听到的数字数目为 n，则请记忆的界面(即数字播报时间)为 n 秒，如图播报 3 个数字则记忆界面为 3 秒

(7) 正序打地鼠任务：用以测查的个体的视空间工作记忆(Karbach et al., 2015)。任务示例如 11 所示。该实验任务主要由记忆和回忆两个部分组成，每个试次开始后，电脑屏幕中会先显示 5×5 的灰色正方形方块，在这些方块中会随机依次出现一定数量的老鼠，任务要求被试记住每个老鼠出现的位置，在 5 秒后，电脑屏幕中会仅显示 5×5 的灰色正方形方块，任务要求被试在这些方块中按顺序回忆之前老鼠出现的位置并用鼠标依次点击。正式实验阶段中，一开始出现的老鼠个数为 2，任务难度会根据被试表现不断调整，当被试连续两个试次点击正确时，老鼠的个数增加一个。但如果被试连续两次错误反应，则实验结束。

最终以被试连续两次回答正确的最大的老鼠数量 n 作为被试视空间工作记忆的成绩。

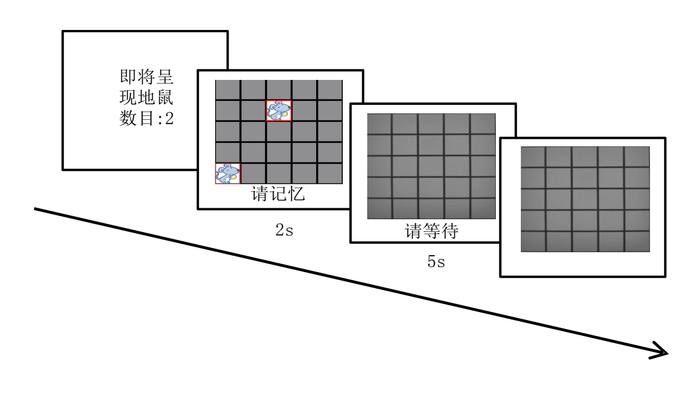



图 11 正序打地鼠任务

注：地鼠数量为 n，则地鼠数量呈现的界面为 n 秒，如图呈现两个地鼠则地鼠呈现界面为 2 秒

(8) 符号奇偶判断任务与非符号奇偶判断任务：同实验 1。

### 3.1.4 实验程序

在本研究中，正序打地鼠任务、倒序背数任务、顺序背数任务、符号与非符号奇偶判断判断任务采用 E-Prime 1.1 进行 3~5 人团体施测；视觉空间关系分测验、三维心理旋转任务和字符押韵任务利用多维心理网络平台(http://www.dweipsy.com/lattice/)进行 3~5 人的团体施测；数字快速自动命名任务使用纸笔的一对一施测。

每位被试在 T1 阶段均需完成正序打地鼠任务、倒序背数任务、视觉空间关系分测验、三维心理旋转任务、字符押韵任务、数字快速自动命名任务、顺序背数任务、符号与非符号奇偶判断判断任务这 9 项任务。所有被试可以在 1 小时内完成所有任务。为避免顺序误差，每组被试需完成的任务顺序不同；此外，在每次任务结束后开始下一任务前，被试中间会休息 5 分钟以避免疲劳效应；在 T2 阶段被试需完成符号与非符号奇偶判断判断任务，所有被试在 30 分钟内可以完成这两项任务，任务顺序同样随机以避免顺序误差。

### 3.1.5 数据处理

采用 SPSS26.0 进行数据录入、描述性统计分析等，删除被试错误试次的数据、反应时(RT)短于 200ms 的数据，以及个体反应时高于或低于组平均反应时 2.5 个标准差的异常值(van Galen & Reitsma, 2008)。并在剔除异常值后，使用 EM 方法对缺失值进行插补(Wu et al., 2020)。随后以言语工作记忆、视空间工作记忆、视空间能力(视知觉和心理旋转)和言语能力(快速命名、语音记忆和语音意识)为预测变量，T2 阶段的符号与非符号 Slope 为结果变量，同时控制 T1 阶段的符号与非符号 SNARC 效应，采用 Mplus 8.3 进行路径分析。

## 3.2 研究结果

### 3.2.1 T1 阶段各变量与 T2 阶段符号、非符号 SNARC 效应的描述性统计及相关分析

各变量的描述性统计及相关如表 3 所示。此外，为了探究 T1 和 T2 阶段的 SNARC 效应是否有所变化，本研究还对 T1 与 T2 阶段 SNARC 效应的强度进行了前后测的分析。结果显示，无论是符号 SNARC 效应[$t$(136)=0.58，$p$=0.57]还是非符号 SNARC 效应[$t$(136)=0.79，$p$=0.43]，在 T1 与 T2 阶段的前后测中均不存在显著的强度差异，这验证了实验 1 中的结果，即 SNARC 效应在一定年龄范围内可能不会随着年龄的增长而发生变化。

**表 3 儿童在各变量上描述性统计及相关结果($N$=137)**

| 任务 | $M±SD$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 T2 非符号 Slope | -18.89±72.70 | - | | | | | | | | | | |
| 2 T2 符号 Slope | -13.37±44.22 | -0.06 | - | | | | | | | | | |
| 3 T1 视空间工作记忆 | 3.42±1.15 | 0.41$^{***}$ | 0.03 | - | | | | | | | | |
| 4 T1 言语工作记忆 | 4.44±1.70 | -0.04 | 0.29$^{**}$ | 0.35$^{**}$ | - | | | | | | | |
| 5 T1 语音记忆 | 6.39±1.47 | -0.03 | 0.33$^{**}$ | 0.16 | 0.18$^{*}$ | - | | | | | | |
| 6 T1 快速自动命名 | 15.44±4.04 | 0.03 | 0.34$^{**}$ | 0.32$^{**}$ | -0.15 | -0.22$^{**}$ | - | | | | | |
| 7 T1 语音意识 | 31.67±8.25 | 0.10 | -0.28$^{**}$ | 0.06 | 0.04 | 0.28$^{**}$ | -0.12 | - | | | | |
| 8 T1 三维心理旋转 | 13.42±2.80 | -0.37$^{**}$ | -0.01 | -0.08 | 0.11 | 0.03 | 0.13 | 0.08 | - | | | |
| 9 T1 视知觉 | 64.9±33.45 | -0.33$^{**}$ | 0.15 | -0.16 | 0.20$^{*}$ | 0.10 | 0.17 | 0.14 | 0.30$^{**}$ | - | | |
| 10 T1 非符号 Slope | -12.64±97.55 | 0.26$^{**}$ | 0.02 | -0.23$^{**}$ | 0.02 | 0.09 | 0.01 | -0.13 | 0.24$^{**}$ | -0.11 | - | |
| 11 T1 符号 Slope | -9.39±76.26 | 0.17 | 0.03 | -0.02 | 0.17 | 0.06 | 0.19$^{*}$ | 0.26$^{**}$ | -0.03 | -0.12 | -0.06 | - |

注：（1）$^{*}$代表 $p$ < .05；$^{**}$代表 $p$ < .01；$^{***}$ 代表 $p$ < .001；（2）回归斜率 Slope 为符号与非符号 SNARC 效应的指标，SNARC 效应越强，Slope 分数越小。（3）认知变量中，语音记忆及言语、视空间工作记忆的单位为容量，快速自动命名的单位为 ms，其他变量均采用校准分。

### 3.2.2 T1 言语能力、视空间能力和工作记忆对 T2 儿童符号与非符号 SNARC 效应的预测作用

以 T1 阶段的言语能力、视空间能力、言语工作记忆和视空间工作记忆为预测变量，T2 阶段的符号 SNARC 效应与非符号 SNARC 效应为结果变量，同时控制 T1 阶段被试的符号 SNARC 效应与非符号 SNARC 效应，进行路径分析。结果表明，该模型拟合指数良好(如图 6)，$\chi 2$(19.62，$N$=79)=1.61，$p$=0.054，CFI=0.94，TLI=0.90，RMSEA=0.07，SRMR = 0.05。其中，T1 阶段的言语能力($\beta$=–0.81，SE=0.19，$p$<0.001)可以显著负向预测 T2 阶段的符号 Slope，这意味着 T1 的言语能力正向预测 T2 的符号 SNARC 效应；T1 阶段的视空间能力($\beta$=–0.63，$SE$=0.10，$p$<0.001)显著负向预测个体 T2 阶段的非符号 Slope，这意味着 T1 的视空间能力能够正向预测 T2 的非符号 SNARC 效应；T1 阶段的言语工作记忆($\beta$=0.45，

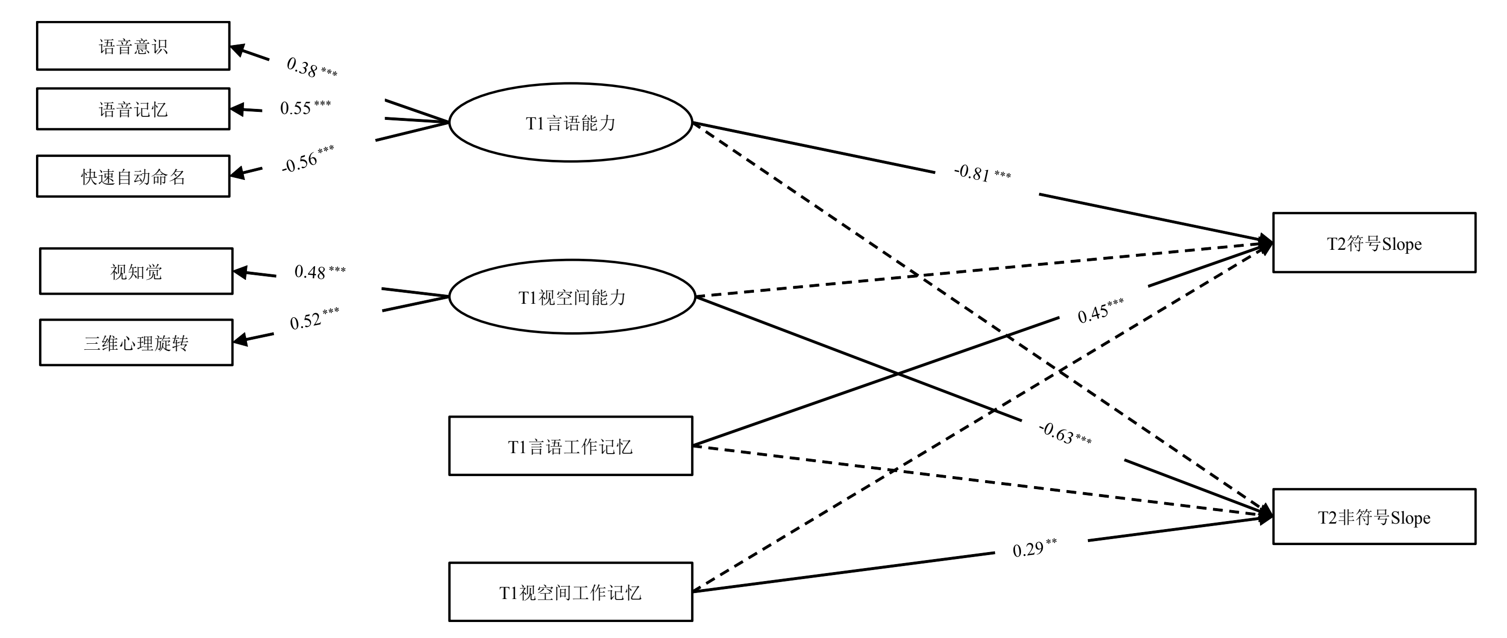
SE=0.09，$p$<0.001)显著正向预测 T2 阶段的符号 slope，这意味着 T1 的言语工作记忆负向预测 T2 的符号 SNARC 效应；T1 阶段的视空间工作记忆($\beta$=0.29，SE=0.10，$p$=0.002)显著正向预测个体 T2 阶段的非符号 Slope，这意味着 T1 的视空间工作记忆负向预测 T2 的非符号 SNARC 效应，模型可以分别解释个体符号 SNARC 效应 62%的变异和非符号 SNARC 效应 55%的变异。

图 6 路径分析模型图

注：（1）模型采用回归斜率 Slope 作为符号与非符号 SNARC 效应的指标，SNARC 效应越强，Slope 分数越小；此外，控制了 T1 阶段的符号与非符号 SNARC 效应。（2）实线表示路径显著，虚线表示路径不显著，路径上的数值为标准化的回归系数。（3）*代表 $p$ < .05；**代表 $p$ < .01；***代表 $p$ < .001。

### 3.3 讨论

实验 2 结果发现 T1 阶段的言语工作记忆可以负向预测 T2 阶段符号 SNARC 效应；T1 阶段的言语能力可以正向预测 T2 阶段符号 SNARC 效应；T1 阶段的视空间工作记忆可以




负向预测 T2 阶段非符号 SNARC 效应；T1 阶段的视空间能力可以正向预测 T2 阶段非符号 SNARC 效应。该结果与 Yang 等人(2020)的研究结论相似，即言语因素与符号数量加工之间存在紧密联系，视空间因素与符号数量加工之间密切相关。这些发现进一步证实了符号 SNARC 效应和非符号 SNARC 效应可能具有不同的认知机制，是相互独立的。并且，从实验 2 的结果中也可以推测出：基于奇偶判断任务所测量出的符号 SNARC 效应可能依赖于数字信息的言语空间编码，而非符号 SNARC 效应则可能依赖于数字信息的视空间编码。

## 4 总讨论

本研究通过采用奇偶判断任务探讨了 6~9 岁儿童和成人群体中符号与非符号 SNARC 效应的发展特点及二者之间的关系。随后，基于实验 1 的结果，对同时出现两种 SNARC 效应的关键年龄阶段(8~9 岁)进行为期 6 个月的追踪测查，深入探究了符号和非符号 SNARC 效应的影响因素，并明晰了二者内在机制的差异性。

### 4.1 符号和非符号 SNARC 效应的发展特点及关系

本研究发现 6~7 岁儿童中就已经出现了非符号 SNARC 效应，但 8~9 岁儿童中才出现符号 SNARC 效应。这与大多数前人的研究结果一致(Berch et al., 1999; van Galen & Reitsma, 2008; Wu et al., 2020)。不过与 Yang 等人(2014)和 Zhou 等人(2007)在 6 岁左右的儿童中就已发现符号 SNARC 效应的结论不同。可能有两方面原因：一方面，可能是由于实验所选取的样本群体不同。具体来说，Yang 等人(2014)选择的被试群体来自北京，该地区教育水平相对较高，所以这些儿童在家庭或幼儿园中可能受到过更多的早期数学训练(Xu et al., 2013)。而本研究中所选取的被试来自我国山东的一个地级市，与教育水平较高地区的儿童相比，他们的早期数学训练和经验可能有所欠缺。而在早期数学学习中，符号 SNARC 效应出现的年龄可能会受到教育差异的影响(Toomarian & Hubbard, 2018)。另一方面，Yang 等人(2014)和 Zhou 等人(2007)的研究较早，其研究结果具有时间限制，在目前教育环境中可能不适用。例如，近年来，我国政府推行“双减”政策，要求幼儿园不得开设小学知识课程，因此幼儿很可能没有接触到正规的小学数学方面的内容，从而导致他们在符号奇偶判断任务中表现不佳。

其次，本研究发现符号与非符号 SNARC 效应所出现的年龄阶段不同，非符号 SNARC 效应在幼儿群体中就已出现，这与之前大多数研究结果一致(Aulet & Lourenco, 2018; Di Giorgio et al., 2019)。目前学术界也普遍认为，在接受正式教育之前，儿童可能会先发展出一个负责非符号数字加工的近似系统(Cheng & Kibbe, 2023)，并且儿童的非符号数字加工能力与空间加工能力相互影响(Deng et al., 2018; Lourenco & Longo, 2010)。同时，Patro 和 Haman(2012)以及 Ebersbach 等人(2014)也认为非符号 SNARC 效应的存在可能独立于正式的阅读和数学学习。而符号 SNARC 效应需要个体具备加工符号数字的能力，这意味着符号 SNARC 效应会受到文化教育等的影响(Wood et al., 2008)，其可能在接受正式教育的学龄儿童群体中才会出现。另外，由于本研究采用的是奇偶判断任务，出现 SNARC 效应意味着被试对符号或非符号刺激的数量进行了自动化加工(Deng et al., 2018)，本研究中非符号 SNARC 效应出现更早的这一结果，也与以往符号和非符号数量自动化加工发展特点比较的

研究结果一致。例如，以往研究表明 5 岁儿童仅表现出非符号数量自动化加工，而未表现出符号数量自动化加工(Gebuis et al., 2009)，且 8 岁的儿童才能进行符号数量自动化加工(Girelli et al., 2000)。

值得注意的是，本研究发现 8~9 岁儿童和成人之间符号或非符号 SNARC 效应的强度均不存在年龄差异，即两种 SNARC 效应在一定年龄范围内不会随着年龄的增长而发生变化。该发现与 Yang 等人(2014)的研究结果一致。但与 Wood 等人(2008)的研究结论不同，他们发现 SNARC 效应的大小会随着年龄的增长而增大。造成这种结果差异的原因之一可能是本研究与 Wood 等人(2008)在研究中所选取被试群体的年龄阶段不同。Wood 等人(2008)的元分析样本多为中年人或老年人群体，并且来自 40 岁以上群体的数据点对其结果中 SNARC 效应强度出现显著年龄差异的贡献较大，但本研究主要关注儿童和大学生。其次，儿童和成人的 SNARC 效应强度缺乏年龄差异的原因也可能是受到了练习与抑制的双重过程的影响(Knoch et al., 2004; Yang et al., 2014)。具体而言，一方面，长期的练习可能会增强 SNARC 效应的强度(Ninaus et al., 2017)，因为练习会加强数字与空间之间的关联，从而使两种 SNARC 效应的强度随着年龄的增长而增加。而另一方面，抑制能力同样随着年龄的增长而增长(Wright et al., 2003)，但这种能力的增长则极可能会削弱符号和非符号 SNARC 效应的强度(Gevers et al., 2005; Wu et al., 2020)。这意味着练习和抑制两个过程可能会相互抵消，从而使得符号和非符号 SNARC 效应的强度没有出现年龄变化。

此外，本研究还发现符号和非符号 SNARC 效应之间并不存在显著关联，这说明二者可能相互独立，支持了非符号系统和符号系统相互独立的分离假说，即符号数字加工依赖精确表征，而非符号数字加工依赖于近似表征(Sasanguie et al., 2017)。第二，两种 SNARC 效应之间不存在相关也可能是由于二者具有不同的认知机制，例如，在符号和非符号数字加工的过程中，激活的脑部区域不同，符号数字加工过程中会激活角回和缘上回，而非符号数字加工过程中会激活枕中回、脑岛和额上回(Peters et al., 2016)。

### 4.2 言语能力、视空间能力和工作记忆对符号 SNARC 及非符号 SNARC 效应的差异性预测作用

本研究发现，T1 阶段(6 个月前)的言语能力和视空间能力分别显著预测 T2 阶段(6 个月后)的符号和非符号 SNARC 效应。这与以往研究发现符号与非符号数量加工的差异性认知机制一致(Yang et al., 2020; Zhang & Lin, 2015)，即言语能力与符号数量加工之间联系紧密，而视空间能力则与非符号数量加工之间密切相关。具体到数字空间联合编码领域，言语能

力显著正向预测符号 SNARC 效应，其原因可能是在符号奇偶判断任务中个体需要对符号数字进行语义加工，而非直接对其数量或空间信息进行加工(Yang et al., 2014)。在这种情况中，正如 Proctor 和 Cho(2006)所提出的观点，个体对符号数字和空间的加工可能会采取两极的语义编码形式，如对数字进行“小”或“大”的语义编码，对空间进行“左”或“右”的语义编码，当数字中对应“小”的一极与空间表征中对应“左”的一极产生了重叠或当数字中对应“大”的一极与空间表征中对应“右”的一极产生了重叠时，就可能会导致符号 SNARC 效应的产生。并且，以往研究也已证实言语能力(包含语音意识、快速自动命名、语音记忆)在个体加工符号数字中的作用。例如，快速自动命名通常被认为是对存储在长期记忆中的信息访问率，有助于识别符号数字(Yang & McBride, 2020)，且符号数字加工能力和快速自动命名能力都依赖于对符号形式(数字)和语音形式(数字词发音)之间任意关联的学习和检索；而语音意识作为言语能力的重要成分，需要经过一定阶段的学习与发展来获得对语言符号的掌握，这与符号数字的学习加工过程类似，二者可能都需要以共同的一般符号能力作为基础(Escobar et al., 2021)；同时有研究者发现语音记忆有助于获得口语数字编码的语音结构，并且符号算术需要语音记忆来临时存储语音信息，以便进行问题解决(Noel et al., 2003)。由此可见，符号 SNARC 效应作为符号数量加工的重要方面，与言语能力之间关联紧密，并且言语能力对其可能存在促进作用。

视空间能力与非符号 SNARC 效应关系密切的原因可能是在非符号奇偶判断任务中，点呈现在空间的不同位置，而视空间能力可以有效帮助个体利用视空间信息和相关资源来更好、更快地记忆点阵的数量。随着儿童年龄的增长，视空间能力较高的个体可能会采用一些视觉策略来解决非符号问题，如通过直观地估计点阵数量，快速确认点的多少(Yang et al., 2020)，进而该数量的相对大小会更迅速地自动激活其表征对应的心理空间位置。其中，视空间能力中的视知觉能帮助个体有效利用视空间资源，快速识别非符号点阵数量的空间关系(Yang et al., 2020)，而心理旋转涉及图像的空间存储和心理表征，有助于数量的空间表征(Yang & Yu, 2021)，由此可见二者有助于个体在大脑中快速识别点阵的状态并激活非符号数量的空间表征，促使非符号 SNARC 效应的产生。

除了视空间能力和言语能力外，本研究还发现一般性的工作记忆能力也能显著预测儿童之后 SNARC 效应的发展，这扩展了双编码理论(Pavio, 1986)。具体来说，言语工作记忆能力弱的任务参与者表现出更强的符号 SNARC 效应，视空间工作记忆能力弱的参与者表现出更强的非符号 SNARC 效应。可见符号 SNARC 效应可能与言语空间编码相关联，正

如 Deng 等人(2017)和 Gevers 等人(2010)发现符号奇偶判断任务下，SNARC 效应可能主要受到言语编码的影响。非符号 SNARC 效应则可能更多地涉及空间加工成分，而非符号 SNARC 效应可能主要与视觉空间编码密切关联。关于工作记忆能力较低的任务参与者 SNARC 效应更强的解释可能是：个体在任务执行期间产生 SNARC 效应，其引入工作记忆中的序列位置来解释数字空间联结现象，即 SNARC 效应的产生可能是由于工作记忆中的数字序列的前/后位置与左/右空间形成联结而产生的一条短时的、新的心理数字线。工作记忆能力较强的儿童处理冲突任务规则的能力更强，例如与 SNARC 效应的方向相反的任务规则(按左键表示大数，按右键表示小数)，个体也能灵活应对。这与 Wu 等人(2020)的研究结果一致。工作记忆的容量较大时，个体自身能够加工的信息量就会增加，进而可能会受到无关信息干扰，从而使得 SNARC 效应较弱。

综上，言语能力、视空间能力、言语工作记忆和视空间工作记忆对符号和非符号 SNARC 效应的差异性预测结果为符号与非符号数量加工的分离假说再次提供了实证支撑，表明两种 SNARC 效应可能是相互独立的。

### 4.3 研究局限

本研究首次在较大的年龄范围内同时探究了符号与非符号 SNARC 效应的发展规律，并用追踪研究探明了两者的差异性预测因素。突破了横断研究中无法确定因果方向的制约。

但本研究也存在一定局限性。首先，研究中只采用了奇偶判断任务。SNARC 效应具有两种经典测量任务：奇偶判断任务和数量比较任务(Dehaene et al., 1990; Dehaene et al., 1993)。这两类任务可能具有不同的模式，会引发不同水平的数字量级处理，并且完成任务过程中所需的工作记忆资源也不同(Deng et al., 2017)，未来研究可以同时使用这两种任务来扩展本研究的发现。第二，本研究中选取的最小被试群体是 6~7 岁，该年龄群体已表现出明显的非符号 SNARC 效应，但目前并不清楚非符号 SNARC 效应是否存在于 6 岁之前的儿童群体中，未来研究者可以从更小的年龄群体中去验证非符号 SNARC 效应的发展特征。第三，本研究采用的非符号奇偶判断任务来自以往经典研究(Nuerk et al., 2005)，且形式相似的刺激材料的近期研究中也有使用(Cutini et al., 2019)。不过也有研究者认为探究非符号 SNARC 效应时应排除感数范围之内的非符号数量材料(Nemeh et al., 2018)，否则可能会引发非符号向符号转换的心理过程。未来研究可以排除感数范围的刺激并采用数量判断等任务进一步探究非符号 SNARC 效应的年龄特点及认知机制。

## 5 结论

(1) 8~9 岁是符号与非符号 SNARC 效应同时出现的关键年龄阶段，非符号 SNARC 效应先于符号 SNARC 效应出现，且两种 SNARC 效应在一定年龄范围内可能并不会随着年龄的增长而发生变化

(2) 符号与非符号 SNARC 效应的认知机制存在差异，符号 SNARC 效应主要与言语工作记忆、言语能力关联密切；非符号 SNARC 效应主要与视空间工作记忆、视空间关联密切。

(3)符号 SNARC 效应与非符号 SNARC 效应相互独立，支持了符号与非符号加工的分离理论。

## 参考文献


Aulet, L. S., & Lourenco, S. F. (2018). The developing mental number line: Does its directionality relate to 5- to 7-year-old children's mathematical abilities? *Frontiers in Psychology, 9*, Article 1142.

Bachot, J., Gevers, W., Fias, W., & Roeyers, H. (2005). Number sense in children with visuospatial disabilities: Orientation of the mental number line. *Psychology Science, 47*(1), 172–183.

Baddeley, A. (2003). Working memory and language: an overview. *Journal of Communication Disorders, 36*(3), 189–208.

Barnes, M. A., Stubbs, A., Raghubar, K. P., Agostino, A., Taylor, H., Landry, S., Fletcher, J. M., & Smith–Chant, B. (2011). Mathematical skills in 3- and 5-year-olds with spina bifida and their typically developing peers: A longitudinal approach. *Journal of the International Neuropsychological Society, 17*(3), 431–444.

Berch, D. B., Foley, E. J., Hill, R. J., & Ryan, P. M. (1999). Extracting parity and magnitude from Arabic numerals: Developmental changes in number processing and mental representation. *Journal of Experimental Child Psychology, 74*(4), 286–308.

Bulf, H., de Hevia, M. D., & Macchi Cassia, V. (2016). Small on the left, large on the right: numbers orient visual attention onto space in preverbal infants. *Developmental Science, 19*(3), 394–401.

Cai, Y., Hofstetter, S., & Dumoulin, S. O. (2023). Nonsymbolic numerosity maps at the occipitotemporal cortex respond to symbolic numbers. *The Journal of Neuroscience, 43*(16), 2950–2959.

Chan, W. W. L., & Wong, T. T. (2016). The underlying number–space mapping among kindergarteners and its relation with early numerical abilities. *Journal of Experimental Child Psychology, 148*, 35–50.

Chen, Y., Wang, J., Kirk, R. M., Pethtel, O. L., & Kiefner, A. E. (2014). Age differences in adaptive decision making: The role of numeracy. *Educational Gerontology, 40*(11), 825–833.

Cheng, C., & Kibbe, M. M. (2023). Is nonsymbolic arithmetic truly "arithmetic"? Examining the computational capacity of the approximate number system in young children. *Cognitive Science, 47*(6), e13299.

Cipora, K., Haman, M., Domahs, F., & Nuerk, H. (2020). Editorial: On the development of space-number relations: linguistic and cognitive determinants, influences, and associations. *Frontiers in Psychology, 11*, Article 182.

Cutini, S., Aleotti, S., Di Bono, M. G., & Priftis, K. (2019). Order versus chaos: The impact of structure on number-space associations. *Attention, Perception, & Psychophysics, 81*, 1781–1788.

de Hevia, M. D., Veggiotti, L., Streri, A., & Bonn, C. D. (2017). At birth, humans associate "few" with left and "many" with right. *Current Biology, 27*(24), 3879–3884.

Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General, 122*(3), 371–396.

Dehaene, S., Dupoux, E., & Mehler, J. (1990). Is numerical comparison digital? Analogical and symbolic effects in

two–digit number comparison. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 16*(3), 626–641

Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology, 20*(3), 487–506.

Deng, Z. J., Chen, Y. H., Zhu, X. S., & Li, Y. J. (2017). The effect of working memory load on the SNARC effect: Maybe tasks have a word to say. *Memory & Cognition, 45*, 428–441.

Deng, Z., Chen, Y., Zhang, M., Li, Y., & Zhu, X. (2018). The association of number and space under different tasks: Insight from a process perspective. *Frontiers in Psychology, 9*, Article 957.

Di Giorgio, E., Lunghi, M., Rugani, R., Regolin, L., Dalla Barba, B., Vallortigara, G., & Simion, F. (2019). A mental number line in human newborns. *Developmental Science, 22*(6), e12801.

Dollman, J., & Levine, W. H. (2016). Rapid communication the mental number line dominates alternative, explicit coding of number magnitude. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 69*, 403–409.

Ebersbach, M., Luwel, K., & Verschaffel, L. (2014). Further evidence for a spatial-numerical association in children before formal schooling. *Experimental Psychology, 61*(4), 323–329.

Escobar, J., Porflitt, F., & Ceric, F. (2021). Evaluating the rapid automatized naming and arithmetical fluency relationship in Chilean first grade students. *Educational psychology (Dorchester-on-Thames), 41*(6), 730–747.

Fias, W., Brysbaert, M., Geypens, F., & Ydewalle, G. D. (1996). The importance of magnitude information in numerical processing: Evidence from the SNARC effect. *Mathematical Cognition, 2*(1), 95–110.

Fias, W., & Fischer, M. H. (2005). Spatial representation of numbers. In J. I. D. Campbell (Ed.), *Handbook of Mathematical Cognition* (pp. 43–54). New York: Psychology Press.

Fischer, M. H., & Shaki, S. (2016). Measuring spatial–numerical associations: Evidence for a purely conceptual link. *Psychological Research, 80*, 109–112.

Formoso, J., Barreyro, J. P., Jacubovich, S., & Injoque-Ricle, I. (2017). Possible associations between subitizing, estimation and visuospatial working memory (VSWM) in children. *The Spanish Journal of Psychology, 20*, e27.

Gazes, R. P., Diamond, R. F. L., Hope, J. M., Caillaud, D., Stoinski, T. S., & Hampton, R. R. (2017). Spatial representation of magnitude in gorillas and orangutans. *Cognition, 168*, 312–319.

Gardner, M. F. (1996). *Test of Visual–Perceptual Skills (non–motor) Revised*. New York: Psychological and Educational Publications.

Gebuis, T., Cohen Kadosh, R., De Haan, E., & Henik, A. (2009). Automatic quantity processing in 5-year olds and adults. *Cognitive Processing, 10*, 133–142.

Georges, C., Hoffmann, D., & Schiltz, C. (2018). Implicit and explicit number–space associations differentially relate to interference control in young adults with ADHD. *Frontiers in Psychology, 9*, Article 775.

Gevers, W., Caessens, B., & Fias, W. (2005). Towards a common processing architecture underlying Simon and SNARC effects. *European Journal of Cognitive Psychology, 17*(5), 659–673.

Gevers, W., Lammertyn, J., Notebaert, W., Verguts, T., & Fias, W. (2006). Automatic response activation of implicit spatial information: Evidence from the SNARC effect. *Acta Psychologica, 122*, 221–233.

Gevers, W., Santens, S., Dhooge, E., Chen, Q., Van den Bossche, L., Fias, W., & Verguts, T. (2010). Verbal–spatial and visuospatial coding of number–space interactions. *Journal of Experimental Psychology General, 139*(1), 180–190.

Gibson, L. C., & Maurer, D. (2016). Development of SNARC and distance effects and their relation to mathematical and visuospatial abilities. *Journal of Experimental Child Psychology, 150*, 301–313.

Girelli, L., Lucangeli, D., & Butterworth, B. (2000). The development of automaticity in accessing number magnitude. *Journal of Experimental Child Psychology, 76*(2), 104–122.

Hammill, D., Pearson, N., & Voress, J. (1993). *Developmental test of visual perception* (2nd ed.). Austin, TX: Pro-

Ed

Herrera, A. Macizo, P., & Semenza, C. (2008). The role of working memory in the association between number magnitude and space. *Acta Psychologica, 128*(2), 225–237.

He, X., Guo, P., Li, S., Shen, X., & Zhou, X. (2021). Non-symbolic and symbolic number lines are dissociated. *Cognitive Processing, 22*(3), 475–486.

Hoffmann, D., Pigat, D., & Schiltz, C. (2014). The impact of inhibition capacities and age on number–space associations. *Cognitive Processing, 15*(3), 329–342.

Imbo, I., de Brauwer, J., Fias, W., & Gevers, W. (2012). The development of the SNARC effect: Evidence for early verbal coding. *Journal of Experimental Child Psychology, 111*, 671–680.

Jonas, C. N., Spiller, M. J., Jansari, A., & Ward, J. (2014). Comparing implicit and synaesthetic number–space associations: Visuospatial and verbal spatial–numerical associations of response codes. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 67*, 1262–1273.

Jordan, N. C., Resnick, I., Rodrigues, J., Hansen, N., & Dyson, N. (2017). Delaware longitudinal study of fraction learning: implications for helping children with mathematics difficulties. *Journal of Learning Disabilities, 50*(6), 621–630.

Karbach, J., Strobach, T., & Schubert, T. (2015). Adaptive working-memory training benefits reading, but not mathematics in middle childhood. *Child Neuropsychology, 21*(3), 285–301.

Kirby, J. R., Parrila, R. K., & Pfeiffer, S. L. (2003). Naming speed and phonological awareness as predictors of reading development. *Journal of Educational Psychology, 95*(3), 453–464.

Knoch, D., Brugger, P., & Regard, M. (2004). Suppressing versus releasing a habit: Frequency-dependent effects of prefrontal transcranial magnetic stimulation. *Cerebral Cortex, 15*(7), 885–887.

Krajewski, K., & Schneider, W. (2009). Exploring the impact of phonological awareness, visual–-spatial working memory, and preschool quantity–number competencies on mathematics achievement in elementary school: Findings from a 3-year longitudinal study. *Journal of Experimental Child Psychology, 103*(4), 516–531.

Lefevre, J.–A., Fast, L., Skwarchuk, S.–L., Smith–Chant, B. L., Bisanz, J., Kamawar, D., & Penner–Wilger, M. (2010). Pathways to mathematics: Longitudinal predictors of performance. *Child Development, 81*(6), 1753–1767.

Lourenco, S. F., & Longo, M. R. (2010). General magnitude representation in human infants. *Psychological Science, 21*(6), 873–881.

Nemeh, F., Humberstone, J., Yates, M. J., & Reeve, R. A. (2018). Non-symbolic magnitudes are represented spatially: Evidence from a non-symbolic SNARC task. *PLoS ONE, 13*(8), e203019.

Noel, M. P., Seron, X., & Trovarelli, F. (2003). Working memory as a predictor of addition skills and addition strategies in children. *Current Psychology of Cognition, 22*(1), 3–24.

Nuerk, H., Wood, G., & Willmes, K. (2005). The universal SNARC effect: The association between number magnitude and space is amodal. *Experimental Psychology, 52*(3), 187–194.

Núñez-Peña, M. I., Colomé, À., & González-Gómez, B. (2021). The spatial-numerical association of response codes (SNARC) effect in highly math-anxious individuals: An ERP study. *Biological Psychology, 161*, 108062.

Pan, Y., Han, X., Mei, G., Bai, X., & Chen, Y. (2019). Development of number-space associations: SNARC effects and spatial attention in 7- to 11-year-olds. *PLoS ONE, 14*(3), e212204.

Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. New York: Oxford University Press.

Passolunghi, M. C., & Costa, H. M. (2016). Working memory and early numeracy training in preschool children. *Child Neuropsychology, 22*(1), 81–98.

Patro, K., & Haman, M. (2012). The spatial–numerical congruity effect in preschoolers. *Journal of Experimental Child Psychology, 111*(3), 534–542.

Peters, L., Polspoel, B., de Beeck, H. O., & De Smedt, B. (2016). Brain activity during arithmetic in symbolic and non-symbolic formats in 9-12 year old children. *Neuropsychologia, 86*(C), 19–28.

Pitt, B., & Casasanto, D. (2018). Spatializing emotion: No evidence for a domain - general magnitude system. *Cognitive Science, 42*(7), 2150–2180.

Proctor, R. W., & Cho, Y. S. (2006). Polarity correspondence: A general principle for performance of speeded binary classification tasks. *Psychological Bulletin, 132*(3), 416–442.

Prpic, V., Basamh, Y. A., Goodridge, C. M., Agostini, T., & Murgia, M. (2023). Contrasting symbolic and non-symbolic numerical representations in a joint classification task. *Psychonomic Bulletin & Review*. Advance online publication.

Prpic, V., Fumarola, A., De Tommaso, M., Luccio, R., Murgia, M., & Agostini, T. (2016). Separate mechanisms for magnitude and order processing in the spatial–numerical association of response codes (SNARC) effect: The strange case of musical note values. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 42*(8), 1241–1251.

Prpic, V., Soranzo, A., Santoro, I., Fantoni, C., Galmonte, A., Agostini, T., & Murgia, M. (2020). SNARC-like compatibility effects for physical and phenomenal magnitudes: a study on visual illusions. *Psychological Research, 84*(4), 950–965.

Sasanguie, D., De Smedt, B., & Reynvoet, B. (2017). Evidence for distinct magnitude systems for symbolic and non-symbolic number. *Psychological Research, 81*(1), 231–242.

Shaki, S., & Fischer, M. H. (2018). Deconstructing spatial-numerical associations. *Cognition, 175*, 109–113.

Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science, 171*(3972), 701–703.

Toomarian, E. Y., & Hubbard, E. M. (2018). On the genesis of spatial-numerical associations: Evolutionary and cultural factors co-construct the mental number line. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 90*, 184–199.

Tosto, M. G., Hanscombe, K. B., Haworth, C. M., Davis, O. S., Petrill, S. A., Dale, P. S., & Kovas, Y. (2014). Why do spatial abilities predict mathematical performance? *Developmental Science, 17*, 462–470.

Tzelgov, J., Meyer, J., & Henik, A. (1992). Automatic and intentional processing of numerical information. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 18*(1), 166–179.

Uccula, A., Enna, M., & Treccani, B. (2020). Compatibility between response position and either object typical size or semantic category: SNARC- and MARC-like effects in primary school children. J*ournal of Experimental Child Psychology, 189*, Article 104682.

van Dijck, J. P., & Fias, W. (2011). A working memory account for spatial-numerical associations. *Cognition, 119*(l), 114–119.

van Dijck, J. P., Gevers, W., & Fias, W. (2009). Numbers are associated with different types of spatial information depending on the task. *Cognition, 113*(2), 248–253.

van Galen, M. S., & Reitsma, P. (2008). Developing access to number magnitude: A study of the SNARC effect in 7- to 9-year-olds. *Journal of Experimental Child Psychol*ogy*, 101*(2), 99–113.

Van Garderen, D. (2006). Spatial visualization, visual imagery, and mathematical problem solving of students with varying abilities. *Journal of Learning Disabilities, 39*, 496–506

Viarouge, A., Hubbard, E. M., McCandliss, B. D., & Costantini, M. (2014). The cognitive mechanisms of the SNARC effect: An individual differences approach. *PLoS One, 9*(4), e95756.

Wagner, R. K., & Torgesen, J. K. (1987). The nature of phonological processing and its causal role in the acquisition of reading skills. *Psychological Bulletin, 101*(2), 192–212.

Wang, Q. Q., Zhang, Q., Shi, W. D., Wang, Z. W., & Zhang, Z. P. (2022). Online construction of spatial representation of numbers: Evidence from the SNARC effect in number processing in interferential situations. *Acta Psychologica Sinica, 54*(07), 761-771.

[王强强，张琦，石文典，王志伟，章鹏程．(2022)．数字空间表征的在线建构：来自干扰情境中数字 SNARC 效应的证据．*心理学报, 54*(07), 761–771.]

White, S. L. J., Dénes, S., & Fruzsina, S. (2012). Symbolic number: The integration of magnitude and spatial representations in children aged 6 to 8 years. *Frontiers in Psychology, 2*, Article 392.

Wood, G., Willmes, K., Nuerk, H., & Fischer, M. H. (2008). On the cognitive link between space and number a meta–analysis of the SNARC effect. *Psychology Science Quarterly, 50*(4), 489–525.

Wright, I., Waterman, M., Prescott, H., & Murdoch-Eaton, D. (2003). A new Stroop-like measure of inhibitory function development: typical developmental trends. *Journal of Child Psychology Psychiatry, 44*(4), 561–575.

Wu, H., Yang, X., Geng, L., Zhu, X., & Chen, Y. (2020). How do working memory and inhibition contribute to the SNARC effect in Chinese school-aged children? *Cognitive Development, 56*, 100959.

Xu, X., Chen, C., Pan, M., & Li, N. (2013). Development of numerical estimation in Chinese preschool children. *Journal of Experimental Child Psychology, 116*(2), 351–366.

Yan, L. Z., Chen, Y. X., Liu, X., Fu, S. M., & Nan, W. Z. (2022). The flexibility of spatial-numerical associations and its internal mechanism. *Advances in Psychological Science, 30*(1), 51–64.

[颜丽珠, 陈妍秀, 刘勋, 傅世敏, 南威治. (2022). 数字空间联结的灵活性及其内在机制. *心理科学进展, 30*(1), 1–14.]

Yang, T., Chen, C., Zhou, X., Xu, J., Dong, Q., & Chen, C. (2014). Development of spatial representation of numbers: A study of the SNARC effect in Chinese children. *Journal of Experimental Child Psychology, 117*, 1–11.

Yang, X., Huo, S., & Zhang, X. (2021). Visual-spatial skills contribute to Chinese reading and arithmetic for different reasons: A three-wave longitudinal study. *Journal of Experimental Child Psychology,* 208, Article 105142.

Yang, X., & McBride, C. (2020). How do phonological processing abilities contribute to early Chinese reading and mathematics? *Educational psychology (Dorchester–on–Thames), 40*(7), 893–911.

Yang, X., Peng, P., & Meng, X. (2019). How do metalinguistic awareness, working memory, reasoning, and inhibition contribute to Chinese character reading of kindergarten children? *Infant and Child Development, 28*(3), e2122.

Yang, X., & Yu, X. (2021). The relationship between mental rotation and arithmetic: do number line estimation, working memory, or place - value concept matter? *British Journal of Educational Psychology, 91*(3), 793–810.

Yang, X., Zhang, X., Huo, S., & Zhang, Y. (2020). Differential contributions of cognitive precursors to symbolic versus non–symbolic numeracy in young Chinese children. *Early Childhood Research Quarterly, 53*, 208–216.

Zhang, X. (2016). Linking language, visual–spatial, and executive function skills to number competence in very young Chinese children. *Early Childhood Research Quarterly, 36*, 178–189.

Zhang, X., & Lin D. (2015). Pathways to arithmetic: The role of visual-spatial and language skills in written arithmetic, arithmetic word problems, and nonsymbolic arithmetic. *Contemporary Educational Psychology, 41*, 188–197.

Zhang, Y., Chen, C., Liu, H., Cui, J., & Zhou, X. (2016). Both non-symbolic and symbolic quantity processing are important for arithmetical computation but not for mathematical reasoning. *Journal of Cognitive Psychology, 28*(7), 807–824.

Zhou, X., Chen, Y., Chen, C., Jiang, T., Zhang, H., & Dong, Q. (2007). Chinese kindergartners' automatic processing of numerical magnitude in Stroop-like tasks. *Memory & Cognition, 35*(3), 464–470.

Zhou, X., Hu, Y., Yuan, L., Gu, T., & Li, D. (2020). Visual form perception predicts 3-year longitudinal

development of mathematical achievement. *Cognitive Processing. 21*(4), 521–532.

# The development of symbolic and non-symbolic SNARC effects: The roles of phonological abilities, visuospatial abilities and working memory

JIANG Jiali[1,2], QI Yue[3], LEI Xiuya[1], LU Lifei[1], YU Xiao[1]

([1] Department of Psychology, School of Humanities and Social Sciences, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

([2] Faculty of Psychology, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China)

([3]Faculty of Psychology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract**

The spatial-numerical association of response codes (SNARC) effect is a phenomenon in which the leftward response is faster than the rightward response for smaller numbers, whereas for larger numbers, the rightward response is faster than the leftward response. Although the existence of the SNARC effect has been examined in many studies, most of these studies focused on the symbolic SNARC effect and neglected to explore the non-symbolic SNARC effect. Little is known about how symbolic and non-symbolic SNARC effects develop and whether there are differences in the cognitive mechanisms involved in these two effects. The present study aimed to simultaneously investigate the developmental characteristics and cognitive mechanisms of symbolic and non-symbolic SNARC effects to contribute to the understanding of number processing.

In Experiment 1, a large-sample cross-sectional method was used with four age groups to explore the developmental characteristics of symbolic and non-symbolic SNARC effects. Thirty-six 6- to 7-year-old children, 59 7- to 8-year-old children, 69 8- to 9-year-old children and 31 adults performed the symbolic and non-symbolic parity judgement task. Experiment 2 was based on dual coding theory and the findings from Experiment 1. In this experiment, 137 children aged 8 to 9 years, the key age at which symbolic and non-symbolic SNARC effects are observed, were selected as participants and followed longitudinally for six months to explore whether the two SNARC effects had similar cognitive mechanisms. Phonological ability, visuospatial ability, visual working memory and phonological working memory were measured at T1. At T2 (after 6 months), the participants' symbolic and non-symbolic SNARC effects were measured. The symbolic and

non-symbolic SNARC effects at T1 were controlled.

The findings of this study were as follows. (1) The non-symbolic SNARC effect emerged in 6- to 7-year-old children, while the symbolic SNARC effect emerged in 8- to 9-year-old children. Thus, the non-symbolic SNARC effect emerged earlier than the symbolic SNARC effect. (2) There were no significant age differences in the symbolic or non-symbolic SNARC effects. (3) For 8- to 9-year-old children and adults with both symbolic SNARC effects and non-symbolic SNARC effects, these two effects were not significantly correlated. (4) Phonological ability and phonological working memory at T1 significantly predicted the development of the symbolic SNARC effect at T2 but not the development of the non-symbolic SNARC effect at T2. Visuospatial ability and visual working memory at T1 significantly predicted the development of the non-symbolic SNARC effect at T2 but not the development of the symbolic SNARC effect.

In conclusion, 8 to 9 years is the critical age at which symbolic and non-symbolic SNARC effects emerge simultaneously, and there is no significant difference in the size of the SNARC effects according to age. Furthermore, phonological ability and phonological working memory contribute to the symbolic SNARC effect, whereas visuospatial ability and visual working memory contribute to the non-symbolic SNARC effect. These findings suggest a difference in the cognitive mechanisms of these two SNARC effects. These findings support the hypothesis of the separation of symbolic and non-symbolic SNARC effects and extend dual coding theory.

**Keywords** symbolic SNARC effect, non-symbolic SNARC effect, cognitive mechanism, developmental characteristic